

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Asam Tambang

Air asam tambang (AAT) atau *Acid Mine Drainage* (AMD) atau air asam batuan (*acid rock drainage* – ARD) adalah air yang bersifat asam (tingkat keasaman yang tinggi dan sering ditandai dengan nilai pH yang rendah di bawah 5) sebagai hasil dari oksidasi mineral sulfida yang terpajan atau terdedah (*exposed*) di udara dengan kehadiran air.



Sumber: Kompasiana, 2015

Gambar 1. Air Asam Tambang

Air asam tambang merupakan hasil dari oksidasi batuan yang mengandung pirit (FeS_2) dan mineral sulfida dari sisa batuan yang terpapar oleh oksigen yang berada dalam air. Permasalahan air asam tambang adalah salah satu dampak potensial yang dihadapi industri pertambangan. Air asam tambang juga mengandung logam berat seperti besi (Fe), aluminium (Al), mangan (Mn). Berdasarkan keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2012 tentang baku mutu limbah bagi usaha dan atau kegiatan pertambangan batubara adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Kegiatan Penambangan Batubara

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH		6–9
Residu Tersuspensi	mg/l	400
Besi (Fe)	mg/l	7
Mangan (Mn)	mg/l	4

Sumber : MenLH, 2012

Kegiatan penambangan, yang kegiatan utamanya adalah penggalian, mempercepat proses pembentukan AAT karena mengakibatkan terpajannya mineral sulfida ke udara, air dan mikroorganisme. Dampak yang dapat ditimbulkan dari AAT adalah terhadap biota perairan, baik secara langsung karena tingkat keasaman yang tinggi maupun karena peningkatan kandungan logam di dalam air (air yang bersifat asam mudah melarutkan logam-logam).

AAT menjadi salah satu dampak penting dari kegiatan pertambangan yang harus dikelola tidak saja karena dampaknya terhadap lingkungan perairan atau air tanah, tetapi juga karena:

1. Sekali telah terbentuk akan sulit untuk menghentikannya (kecuali salah satu komponennya habis).
2. Bisa berdampak sangat lama, melampaui umur tambang; pengalaman menunjukkan bisa berlangsung sampai ratusan tahun.

Pembentukan AAT dimungkinkan karena tersedianya:

- Mineral sulfida : sumber sulfur/asam
- Oksigen (dalam udara) : pengoksidasi
- Air : pencuci hasil oksidasi

Oleh karena itu perlu diketahui jenis sulfur yang terdapat di dalam batuan – yang mudah teroksidasi adalah sulfur yang terdapat dalam bentuk mineral sulfida:

1. FeS_2 : pirit
2. FeS_2 : marcasite
3. Fe_xS_x : pyrrhotite
4. Cu_2S : chalcocite

5. CuS : covellite
6. MoS₂ : molybdenite
7. CuFeS₂ : chalcopirit
8. PbS : galena
9. ZnS : sphalerite
10. FeAsS : arsenopirit

2.1.1 Faktor Pembentukan Air Asam Tambang

Faktor pembentukan air asam tambang di antaranya (Wulandari, 2013) :

a. Luas permukaan reaksi dan pirit

Tergantung dari jumlah pirit yang terdapat dalam batuan atau batubara. Semakin banyak jumlah pirit semakin banyak potensi asam yang dihasilkan.

b. Bentuk sulfur pirit

Bentuk sulfat ini sangat potensial, umumnya dalam batubara ataupun batuan yang berkaitan dengan batubara. Sulfat organik dan sulfat biasanya dijumpai dalam bentuk kecil pada batuan dan batubara serta kurang reaktif dalam pembentukan air asam tambang.

c. pH dari larutan

Pada saat pH antara 4-7, reaksi oksidasi pirit akan berlangsung lambat dan jumlah Fe³⁺ yang dihasilkan akan terbatas karena rendahnya kelarutan Fe(OH)₃. Kenaikan tingkat keasaman akan meningkatkan kelarutan Fe³⁺ pada saat pH larutan sebesar 1,5-2 yang merupakan kondisi paling efektif untuk kecepatan oksidasi pirit.

d. Katalisator

Adapun katalisator dalam terbentuknya air asam tambang adalah:

- Adanya mineral-mineral sulfida
- Tersedianya oksigen yang cukup banyak untuk proses oksidasi
- Adanya aktivitas mikrobiologi

e. Pengaruh Temperatur

Reaksi pembentukan air asam tambang meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur, sehingga pembentukan air asam tambang sendiri lebih cepat pada material yang mengandung pirit dengan suhu yang lebih hangat.

2.1.2 Dampak yang Ditimbulkan dari Air Asam Tambang

Dampak yang dihasilkan dari air asam tambang antara lain:

1. Terhadap tanah
 - H_2S , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , dan H^+ yang banyak terbentuk pada oksidasi sulfida dapat secara langsung meracuni tanaman.
 - Mikroba patogen meningkat
 - Tanah kekurangan unsur basa seperti Ca, Mg, dan K.
 - Penurunan mikroba tanah yang bermanfaat untuk fiksasi nitrogen.
2. Terhadap kesehatan ternak dan manusia
 - Jenis nyamuk tertentu mencari tempat asam untuk bertelur
 - Alumunium terlarut dalam air dapat menimbulkan gangguan terhadap pertumbuhan organ tubuh dan gangguan kesehatan lainnya.
 - Air yang bersifat asam dan tercemar pada sungai dapat menyebabkan iritasi kulit.
3. Terhadap perairan
 - Pada kondisi pH yang rendah secara langsung dapat menyebabkan kematian ikan akibat terjadinya penyumbatan insang oleh garam-garam besi dan alumunium.
 - Dominannya jenis-jenis plankton tertentu dan terjadinya endapan besi di dasar air yang akan menangkap nutrient dan sedimen mineral yang bermanfaat bagi biota perairan.

2.2 *Fly Ash* (Abu Terbang) Batubara

Fly ash merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batubara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya, dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. *Fly ash* terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m²/kg. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain warnanya abu-abu keputihan dan ukurannya sangat halus yaitu sekitar 88%.



Sumber: Lucinda, 2015

Gambar 1. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash atau abu terbang yang merupakan sisa-sisa pembakaran batubara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang berbentuk partikel halus dan merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran dari proses pembakaran

batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*).

Menurut ACI Committee 226 dijelaskan bahwa, *fly ash* mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan N0. 325 (45 mili mikron) 5-27%, dengan specific gravity antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman. Sifat proses *pozzolanic* dari *fly-ash* mirip dengan bahan *pozzolan* lainnya.

Menurut ASTM C.618 (ASTM, 1995:304) abu terbang (*fly-ash*) didefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batubara.

2.2.1 Klasifikasi *Fly Ash*

Abu terbang atau *fly ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis (ACI *Manual of Concrete Practice* 1993 parts 1 226.3R-3), yaitu :

1. Kelas C

Fly ash yang mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batu bara (batu bara muda). Senyawa lain yang terkandung didalamnya : SiO_2 (30-50%), Al_2O_3 (17-20%), Fe_2O_3 , MgO, Na_2O dan sedikit K_2O . Mempunyai *specific gravity* 2,31-2,86. Mempunyai sifat *pozzolan*, tetapi juga langsung bereaksi dengan air untuk membentuk CSH ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), kalsium hidroksida dan Ettringite yang mengeras seperti semen.

2. Kelas F

Fly ash yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara. Senyawa lain yang terkandung didalamnya : SiO_2 (30-50%), Al_2O_3 (45-60%), MgO, K_2O dan sedikit Na_2O . Mempunyai *specific gravity* 2,15-2,45. bersifat seperti *pozzolan*, tidak bisa mengendap karena kandungan CaO yang kecil.

3. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chertz dan shales, tuff dan abu vulkanik yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. selain itu, juga mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.

2.2.2 Sifat Fisik dan Sifat Kimia *Fly Ash*

a. Sifat Fisik *Fly Ash*

Sifat fisik abu terbang atau *fly ash* berdasarkan bentuk, warna, ukuran, tampilan, kerapatan, dan luas area spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Fisik *Fly Ash* Batubara

Bentuk	Berbentuk bola padat atau berrongga
Warna	Berwarna keabu-abuan
Ukuran	1-100 μm
Tampilan	Sangat halus
Kerapatan	2100 sampai 3000 kg/m^3
Luas area spesifikasi	170 sampai 1000 m^2/kg

Sumber: Suci Faradina, 2012

b. Sifat Kimia *Fly Ash*

Sifat kimia dari *Fly Ash* batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan subbituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak dari pada jenis bituminous. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit dari pada bituminous. *Fly ash* batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel *fly ash* hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan *fly ash* berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m^3 dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara

Blaine) antara 170 sampai 1000 m²/kg, sedangkan ukuran partikel rata-rata *fly ash* batubara jenis sub-bituminous 0,01 mm – 0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m²/g, massa jenis (*specific gravity*) 2,2 – 2,4 dan bentuk partikel *mostly spherical*, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola, sehingga menghasilkan kelecakan (*workability*) yang lebih baik (Agustin Retnosari, 2010).

2.2.3 Kualitas Mutu *Fly Ash* PT Semen Baturaja

Berdasarkan uji mutu *fly ash* di seksi pengendalian mutu di PT Semen Baturaja, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Kualitas *Fly Ash* PT Semen Baturaja

Komposisi	Nilai (%)	Jumlah (ton)
SiO ₂	47,38	39,35
Al ₂ O ₃	29,14	38,99
Fe ₂ O ₃	4,5	39,34
CaO	11,28	40,30
MgO	1,08	21,51

Sumber: Seksi Pengendalian Mutu PT Semen Baturaja, 2017

2.2.4 Kegunaan *Fly Ash*

Abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam (Wang dan Wu, 2006) :

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. Penimbun lahan bekas pertambangan
3. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori
4. Bahan penggosok (polisher)
5. Filler aspal, plastik, dan kertas
6. Pengganti dan bahan baku semen
7. Aditif dalam pengolahan limbah (waste stabilization)
8. Konversi menjadi zeolit dan adsorben.

2.3 Silika

Silika merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul SiO_2 yang dapat diperoleh dari silika mineral, nabati, dan sintesis kristal. Silika murni terdapat dalam dua bentuk, yaitu kuarsa dan kristobalit. Silika relatif tidak reaktif terhadap H_2 dan Cl_2 , asam-asam lainnya, dan sebagian logam pada suhu 25°C atau pada suhu yang lebih tinggi, tetapi reaktif terhadap F_2 , HF aqua, hidroksida alkali, dan leburan-leburan karbonat.

Tabel 4. Sifat Fisik Silika

Sifat Fisika	
Nama IUPAC	Silikon Dioksida
Nama Lain	Kuarsa, silika, silikat dioksida, silikon (IV) oksida
Rumus Molekul	SiO_2
Massa Molar	60,08 gr/mol
Penampilan	Kristal transparan
Titik Lebur	$1600 - 1725^\circ\text{C}$
Titik Didih	2230°C

Sumber: Melinda, 2015

Adapun sifat kimia dari silika (SiO_2), yaitu:

- Silika relatif tidak reaktif terhadap asam kecuali terhadap asam hidrofluorida dan asam fospat.
- Silika dapat bereaksi dengan basa, terutama dengan basa kuat seperti hidroksida alkali.

2.4 Membran

Membran merupakan suatu lapisan tipis antara dua fasa fluida yaitu fasa umpan (feed) dan fasa permeat yang bersifat sebagai penghalang (*barrier*) terhadap suatu spesi tertentu, yang dapat memisahkan zat dengan ukuran yang berbeda serta membatasi transpor dari berbagai spesi berdasarkan sifat fisik dan kimianya. Membran bersifat semipermeabel, berarti membran dapat menahan

spesi-spesi tertentu yang lebih besar dari ukuran pori membran dan melewati spesi-spesi lain dengan ukuran lebih kecil. Sifat selektif dari membran ini dapat digunakan dalam proses pemisahan.

Membran dapat dibuat dari bahan alami dan bahan sintetis, dimana bahan alami adalah bahan yang berasal dari alam seperti dari *pulp* dan kapas, sedangkan bahan sintetis dibuat dari bahan kimia seperti polimer. Membran juga dapat dibuat dari polimer alam (organik) dan polimer anorganik. Membran berfungsi memisahkan material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul, menahan komponen dari umpan yang mempunyai ukuran lebih besar dari pori-pori membran dan melewati komponen yang mempunyai ukuran yang lebih kecil. Filtrasi dengan menggunakan membran berfungsi sebagai sarana pemisahan dan juga sebagai pemekatan dan pemurnian dari suatu larutan yang dilewatkan pada membran tersebut.

2.4.1 Klasifikasi Membran

1. Berdasarkan bahan yang digunakan:

- Membran Polimer

Pada dasarnya semua polimer dapat digunakan sebagai penghalang (*barrier*) atau material membran namun sifat fisika dan sifat kimianya sangat berbeda dikarenakan hanya polimer tertentu yang dapat digunakan dalam percobaan.

Membran polimer diklasifikasikan menjadi membran berpori (*porous membrane*) dan membran tidak berpori (*non-porous membrane*). Membran berpori diaplikasikan pada proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi, sedangkan membran tidak berpori diaplikasikan pada pemisahan gas (*gas separation*) dan penguapan (*pervaporation*). Faktor utama untuk penentuan pemisahan material pada membran berpori adalah ukuran pori dan distribusi ukuran pori serta stabilitas termal dan kimia pada membran. Sedangkan pada membran tidak berpori yang digunakan pada pemisahan gas ataupun penguapan ditentukan oleh performansi membran, yaitu pada selektivitas dan fluks.

- Membran Anorganik

Pada membran anorganik stabilitas kimia dan termalnya berhubungan dengan material polimer. Pembagian tipe membran anorganik dibedakan menjadi 3, yaitu:

- a. Membran keramik

Membran keramik dibentuk dengan perpaduan sebuah logam dengan non logam sehingga membentuk oksida, nitrida, atau karbida.

- b. Membran gelas

Membran gelas (silika, SiO_2) menggunakan teknik *demixed glasses*.

- c. Membran metalik

Membran metalik ditentukan dengan sintering bubuk logam.

- Membran Biologi

Struktur dan fungsi dari membran biologi sangat berbeda dengan membran sintetik. Membran biologi atau membran sel mempunyai struktur yang sangat kompleks. Karakteristik beberapa membran sel mengandung struktur lipid bilayer.

2. Berdasarkan strukturnya:

- Membran simetris

Membran simetris tersusun atas satu macam lapisan (homogen) dengan ketebalan 10-200 μm . Membran jenis ini dapat menahan hampir semua partikel umpam dalam pori-porinya sehingga dapat tersumbat dan menurunkan permeabilitas dengan cepat.

- Membran asimetris

Membran asimetris terdiri dari lapisan tipis yang aktif dan beberapa lapisan pendukung yang berpori di bawahnya (heterogen). Ukuran dan kerapatan porinya tidak sama dan bagian atas ke bagian bawah. Ketebalan lapisan tipisnya adalah 0,1-0,5 μm dan lapisan pendukungnya 50-150 μm .

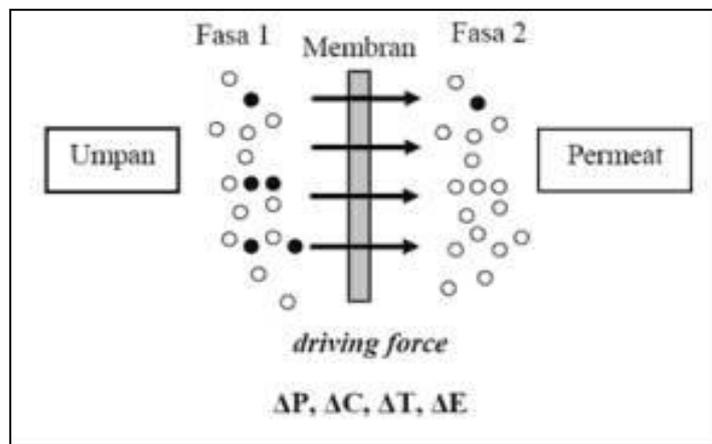
3. Berdasarkan ukuran partikel:
 - Membran mikrofiltrasi
 - Membran ultrafiltrasi
 - Membran osmosa balik (OR)
 - Nanofiltrasi
 - Membran dialisa
 - Membran elektrodialisa

4. Berdasarkan bentuknya:
 - Membran datar
 - a. Membran datar yang memiliki satu lembar saja.
 - b. Membran datar yang tersusun bertingkat-tingkat.
 - c. Membran spiral bergulung.
 - Membran tubular
 - a. Membran serat berongga (diameter $<0,5$ mm)
 - b. Membran kapiler (diameter $0,5-5,0$ mm)
 - c. Membran tubular (diameter > 5 mm)

2.4.2 Prinsip Proses Pemisahan Membran

Pada prinsipnya proses pemisahan dengan menggunakan membran adalah proses pemisahan antara pelarut dengan zat terlarut. Pelarut dipisahkan dengan zat terlarut yang akan tertahan pada membran atau yang disebut dengan konsentrat, sedangkan pelarut akan lolos melalui membran yang dinamakan permeate.

Proses pemisahan dengan membran mempunyai kemampuan memindahkan salah satu komponen berdasarkan sifat fisik dan kimia membran serta komponen yang dipisahkan. Perpindahan yang terjadi karena adanya gaya dorong (*driving force*) dalam umpan yang berupa beda tekanan (ΔP), beda konsentrasi (ΔC), beda potensial listrik (ΔE), dan beda temperatur (ΔT), serta selektifitas membran yang dinyatakan dengan rejeksi.



Sumber: Teknologi Membran USU, 2015

Gambar 2. Skema proses pemisahan menggunakan membran

Dengan menggunakan membran, yaitu filtrasi laminar (*dead end*) dan filtrasi tangensial (*cross flow*). Dalam filtrasi laminar, aliran umpan tegak lurus ke permukaan membran sehingga sebagian saja yang terakumulasi. Pada konfigurasi *dead end* tidak terdapat retentat sedangkan jika terdapat retentat disebut *cross flow*. Jadi pada konfigurasi *cross flow* terdapat sebagian *feed* (pelarut) yang tidak menjadi permeat. Untuk kasus *dead end*, resistansi meningkat menurut ketebalan lapisan *fouling* yang terbentuk pada permukaan membran.

2.4.3 Kinerja Membran

Kinerja atau efisiensi perpindahan didalam membran ditentukan oleh dua parameter yaitu :

a. Permeabilitas

Permeabilitas sering disebut juga sebagai kecepatan permeat atau fluks adalah jumlah volume permeat yang melewati satu satuan permukaan luas membran dengan waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan. Pada proses filtrasi, nilai fluks yang umum dipakai adalah fluks volume yang dinyatakan sebagai volume larutan umpan yang dapat melewati membran per satuan waktu per satuan luas membran. Faktor yang mempengaruhi permeabilitas adalah jumlah dan ukuran pori, interaksi antara membran dan larutan umpan, viskositas larutan serta tekanan dari luar.

Permeabilitas membran dilihat dari fluks, dimana fluks adalah kecepatan aliran melewati membran yang dihitung dengan persamaan:

$$J = \frac{V}{A \cdot t}$$

Dalam hal ini, J adalah fluks cairan, sedangkan V adalah volume permeat, dan t adalah waktu permeat, serta A adalah luas permukaan membran.

b. Selektifitas

Selektifitas suatu membran merupakan ukuran kemampuan suatu alat membran keramik menahan suatu suspensi atau melewati suatu suspensi tertentu lainnya. Faktor yang mempengaruhi selektifitas adalah besarnya ukuran partikel yang akan melewatinya, interaksi antara membran, larutan umpan dan ukuran pori. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan selektivitas membran adalah koefisien rejeksi (R), yaitu fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran.

Penentuan tolakan (R) ditentukan oleh persamaan:

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_b} \right)$$

Dalam hal ini, C_p adalah konsentrasi zat terlarut di dalam permeat dan C_b adalah rata-rata konsentrasi zat terlarut di dalam umpan (*feed*) dan retentat.

Ukuran pori juga berperan dalam menentukan selektifitas membran, dimana membran yang memiliki ukuran pori kecil akan memberikan tolakan yang lebih besar daripada membran yang mempunyai ukuran pori lebih besar (Mulder, 1991).

2.4.4 Faktor yang Memengaruhi Kinerja Membran

Beberapa faktor yang mempengaruhi dalam penggunaan membran diantaranya :

1. Ukuran Molekul

Ukuran molekul membran sangat mempengaruhi kinerja membran.

2. Bentuk Membran

Membran dapat dibuat dalam berbagai macam bentuk, seperti bentuk datar, bentuk tabung, dan bentuk serat berongga.

3. Bahan Membran

Perbedaan bahan membran akan berpengaruh pada hasil rejeksi dan distribusi ukuran pori.

4. Karakteristik Larutan

Karakteristik larutan ini akan memberi pengaruh terhadap permeabilitas membran.

5. Parameter operasional

Jenis parameter yang digunakan pada operasional umumnya terdiri dari tekanan membran, permukaan membran, temperatur dan konsentrasi.

Selain faktor di atas, kinerja membran juga dipengaruhi oleh hal-hal berikut:

1. Karakteristik membran
2. Tekanan operasi
3. pH umpan
4. Periode operasi membran
5. Konsentrasi umpan
6. Temperatur
7. Kadar *suspended solid* dalam air umpan

2.4.5 Keunggulan Membran

1. Pemisahannya berdasarkan molekul sehingga pemisahan dapat beroperasi pada temperatur rendah (*temperature ambient*).
2. Pemakaian energi yang relatif rendah karena biasanya pemisahan menggunakan membran tidak melibatkan perubahan fasa.
3. Tidak menggunakan zat bantu kimia dan tidak ada tambahan produk buangan.
4. Bersifat modular, artinya dapat di *scale up* dengan memperbanyak unitnya.
5. Dapat digabungkan dengan jenis operasi lainnya.

2.5 Membran Silika dari *Fly Ash*

Silika merupakan salah satu komponen *fly ash* yang paling dominan jumlahnya, yaitu sekitar 30-36%. Silika juga merupakan bahan kimia yang pemanfaatan dan aplikasinya sangat luas. Salah satu pemanfaatan serbuk silika

adalah sebagai bahan pembuat membran padat, misalnya membran silika yang dapat dimanfaatkan untuk dekolonisasi limbah cair batik (Aryanti, 2009), kemudian untuk menurunkan warna dan kekeruhan pada limbah industri jeans dengan menggunakan membran silika nanofiltrasi aliran *cross flow* (Rachmawati dan Damayanti, 2013), selain itu membran silika juga dapat digunakan untuk menurunkan kadar COD dan BOD pada limbah kelapa sawit (Eka, 2015), dan untuk filtrasi air laut menjadi air tawar (Ali, 2013).

Membran silika memiliki berbagai keunggulan, seperti bahan pembuatannya yang mudah didapat, proses pembuatan yang terbilang sederhana, dan kemampuannya untuk menurunkan kadar limbah seperti logam, kadar COD dan BOD, ataupun warna cukup baik, sesuai dengan jumlah silika yang digunakan dan ukuran pori dari membran yang dibuat.

2.6 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses dimana molekul-molekul fluida menyentuh dan melekat pada permukaan padatan (Nasruddin, 2005). Proses adsorpsi dapat berlangsung jika suatu permukaan padatan dan molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan molekul-molekul tersebut, maka di dalamnya terdapat gaya kohesif termasuk gaya hidrostatis dan gaya ikatan hidrogen yang bekerja di antara molekul seluruh material. Gaya-gaya yang tidak seimbang pada batas fasa tersebut menyebabkan perubahan konsentrasi molekul pada *interface* solid atau fluida.

2.6.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

1. Tekanan

Tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.

2. Temperatur Absolut

Temperatur yang dimaksud adalah temperatur adsorbat. Pada saat molekul-molekul gas atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben akan terjadi

pembebasan sejumlah energi. Berkurangnya t_{emperatur} akan menambah jumlah adsorbat yang didapat.

3. Interaksi Potensial

Interaksi potensial antara adsorbat dengan dinding adsorben sangat bervariasi, tergantung pada sifat adsorbat dan adsorben.

4. Jenis Adsorbat

a. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

b. Kepolaran Zat

Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul tidak polar. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang terlebih dahulu teradsorpsi.

5. Karakteristik Adsorben

a. Kemurnian adsorben

Sebagai zat untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsinya yang lebih baik.

b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben.

Adapun hubungan antara pemisahan membran dengan proses adsorpsi adalah bahwa pada dasarnya pemisahan dengan membran berlangsung dengan cara adsorpsi, dimana partikel yang akan dilisahkan akan diikat oleh membran di permukaannya, sehingga membentuk lapisan atau disebut dengan *cake* yang akan menutupi permukaan membran, sedangkan adsorpsi sendiri merupakan proses

dimana cairan akan terikat pada permukaan membran dan membentuk lapisan tipis pada permukaannya. Oleh karena itu, proses pemisahan dengan membran memiliki hubungan dengan proses adsorpsi.

2.7 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan sebuah tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses *scan* dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari elektron dalam suatu pola *scan raster*. SEM digunakan untuk mengamati morfologi suatu bahan dengan prinsip kerja sifat gelombang dari elektron yaitu difraksi pada sudut yang sangat kecil.

Penggunaan SEM sebagai salah satu mikroskop elektron didasarkan pada fakta bahwa alat ini dapat digunakan untuk mengamati dan mengkarakterisasi bahan dengan skala mikrometer (μm) hingga nanometer (nm). Dalam SEM, lensa yang digunakan adalah suatu lensa elektromagnetik, yakni medan magnet dan medan listrik, yang dibuat sedemikian rupa sehingga elektron yang melewatinya dibelokkan seperti cahaya oleh lensa elektromagnetik tersebut. Sebagai pengganti sumber cahaya dipergunakan suatu pemicu elektron (*electron gun*), yang berfungsi sebagai sumber elektron yang dapat menembaki elektron yang berenergi tinggi, biasanya antara 20 KeV-200 KeV, terkadang sampai 1 MeV.